

51

Int. Cl. 2:

G 02 B 5/14

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DT 25 17 019 A 1

11

# Offenlegungsschrift 25 17 019

21

Aktenzeichen: P 25 17 019.8

22

Anmeldetag: 17. 4. 75

43

Offenlegungstag: 28. 10. 76

30

Unionspriorität:

32 33 31

54

Bezeichnung: Verfahren zur Einkopplung hoher optischer Leistungen in Lichtleiter

71

Anmelder: Bodem, Friedrich, Dipl.-Phys., 8551 Hiltpoltstein;  
Reidenbach, Hans-Dieter, Dipl.-Ing., 8510 Fürth

72

Erfinder: gleich Anmelder

# Verfahren zur Einkopplung hoher optischer Leistungen in Lichtleiter

Die Möglichkeit, elektromagnetische Strahlung im optischen Wellenlängenbereich in hochtransparenten ummantelten Fasern aus anorganischen oder organischen Glasmaterialien mit totalreflektierender Kern-Mantel-Grenzschicht zu führen, ist seit längerer Zeit bekannt. In den letzten Jahren wurden auch Lichtleiter hergestellt, die die Übertragung hoher optischer Leistungen, wie sie beispielsweise zur thermischen Veränderung von Materialoberflächen oder zur intensiven monochromatischen Beleuchtung mit Laserstrahlung benötigt werden, erlauben. Die in den Lichtleiter einzukoppelnde optische Leistung muß in Form eines schlanken Lichtbündels vorgegeben sein, welches durch ein geeignetes optisches System in den Faserkern einjustiert werden kann. Dabei treten folgende Forderungen auf:

1. Der Lichtbündeldurchmesser muß an der Einkopplfläche des Lichtleiters geringfügig kleiner sein als der Durchmesser des Lichtleitkerns, damit
  - a) die gesamte Leistung des Lichtbündels in den Lichtleiter eingekoppelt wird und
  - b) die Lichtleistung bereits bei der Einkopplung auf die größtmögliche Fläche verteilt und somit die optische Belastung des Lichtleiterkernmaterials auf ein Minimum reduziert wird.
2. Das Lichtbündel muß unter diesen Umständen sehr genau auf die Lichtleiterkernoberfläche justiert werden können.
3. Das Lichtbündel muß bei der Einkopplung in den Lichtleiterkern eine geringfügige Divergenz aufweisen, damit sich innerhalb des Lichtleiterkerns kein Fokus ausbildet, der durch die mit ihm auftretenden extrem hohen optischen Leistungsdichten zur Beschädigung oder gar Zerstörung des Lichtleiters führen könnte. Die Lichtbündeldivergenz bei der Einkopplung muß jedoch klein sein, da mit ihr die Transmissionsverluste des Lichtleiters ansteigen.
4. An der Lichtleiterkernoberfläche muß für ausreichende Wärmeabführung gesorgt sein. Oberflächliche mikroskopische Verunreinigungen können sich durch ihre optische Absorption zu stark erhitzen und die thermische Zerstörung der Lichtleiterkernoberfläche einleiten, wenn sie nicht allseitig in ausreichend wärmeableitendes Medium eingebettet sind.

Alle diese Forderungen werden von dem erfindungsgemäßen Verfahren einer Immersionseinkopplung vollständig erfüllt. Dieses Verfahren ist in der beigefügten Skizze schematisch dargestellt und nachfolgend erläutert.

609844/0613

2517019

Das Lichtbündel mit Durchmesser  $d_1$  tritt durch eine Linse L mit geeigneter Brennweite  $f$  in die unmittelbar angrenzende Immersionsflüssigkeit I ein, wird nach Durchlaufen einer Kaustik schwach divergent und nimmt schließlich im Abstand  $\lambda$  einen Durchmesser  $d_2 \leq$  Lichtleiterkerndurchmesser  $d_K$  an.

Die Immersionsflüssigkeit erfüllt dabei folgende wichtige Funktionen:

1. Sie bewirkt die notwendige zusätzliche Wärmeableitung von den lichtabsorbierenden mikroskopischen Fremdkörpern auf der Lichtleiterkernoberfläche O. Dieser Effekt kann dadurch noch verstärkt werden, daß man die Immersionsflüssigkeit ohne Beeinträchtigung ihrer optischen Homogenität an der Lichtleiterkernoberfläche vorbeiströmen läßt und/oder gegebenenfalls zusätzlich kühlt.
2. Da die Brechungsindizes von Linsenmaterial  $n_L$  und Lichtleiterkernmaterial  $n_K$  nahezu gleich sind, kann man durch Wahl einer geeigneten, die Lichtleitermaterialien, Linse L und Behältnis B nicht angreifenden, hochtransparenten Immersionsflüssigkeit I mit Brechungsindex  $n_I \approx n_L$  und  $n_I \approx n_K$  die Fresnel-Reflexionsverluste an den optischen Grenzflächen Linse - Immersionsflüssigkeit und Immersionsflüssigkeit - Lichtleiterkern weitgehend unterdrücken. Die Fresnel-Reflexionsverluste an der äußeren Grenzfläche Luft - Linse können durch Aufbringen einer geeigneten optischen Vergütungsschicht weitgehend unterdrückt werden.
3. Eine schwache Streustrahlung der hochtransparenten Immersionsflüssigkeit I macht das einzukoppelnde Lichtbündel in seinem Verlauf durch die Immersionsflüssigkeit und in seiner lateralen Ausdehnung für das Auge deutlich erkennbar, wenn man das die Immersionsflüssigkeit fassende Behältnis B aus durchsichtigem Material herstellt. Es ist dann sehr einfach, das Lichtbündel genau auf die Lichtleiterkernoberfläche O einzujustieren.

Diese zuletzt genannte Einjustierung erfolgt durch geeignete Orientierung bezüglich des einfallenden Lichtbündels

- a) entweder des starr ausgeführten Gesamtsystems Linse - Behältnis - Lichtleiteranfang oder
- b) der beweglich und flüssigkeitsdicht an das starre System Behältnis - Lichtleiteranfang angebrachten Linse

mit Hilfe der obengenannten möglichen visuellen Kontrolle des Lichtbündelverlaufs in der Immersionsflüssigkeit.

609844/0613

2517019

Beispiel 1:

Der Gaußstrahl eines Argonlasers (1,6 mm Durchmesser) wurde mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in einen flexiblen Kunststofflichtleiter (Lichtleiterkerndurchmesser 1,4 mm) eingekoppelt. Als Immersionsflüssigkeit wurden Wasser oder Glyzerin verwendet. Das Behältnis B war ein Glasrohr. Die mit dem gegebenen Argonlaser erzielbare optische Leistung von 20 Watt konnte im Langzeitversuch und im experimentellen Einsatz in der medizinischen Endoskopie zur Photokoagulation ohne Beschädigung des Kunststofflichtleiters eingekoppelt werden.

Beispiel 2:

Es wurde versucht, den genannten Laserstrahl ohne Immersionsflüssigkeit in den gleichen Kunststofflichtleiter einzukoppeln. Die Lichtleiterkernoberfläche wurde dabei schon bei einer Strahlleistung von 4-5 Watt zerstört.

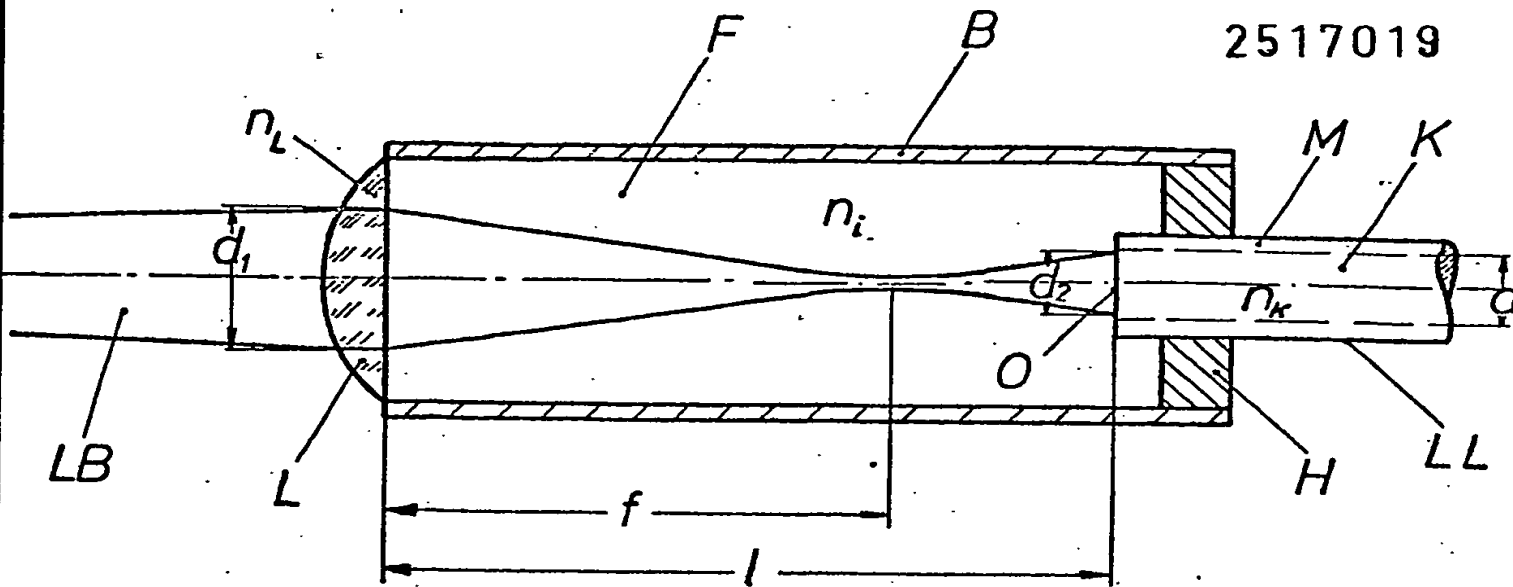
609844/0613

Patentansprüche

- (1) Verfahren zur Einkopplung hoher optischer Leistung in Lichtleiter, dadurch gekennzeichnet, daß die Einkopplung in einer wärmeableitenden ruhenden oder strömenden und - wenn notwendig - zusätzlich gekühlten Immersionsflüssigkeit stattfindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1), dadurch gekennzeichnet, daß zur Herabsetzung der Fresnel-Reflexionsverluste die Immersionsflüssigkeit direkt an die Rückfläche einer Einkoppellinse und die Lichtleiterkernoberfläche angrenzt und mit ihrem Brechungsindex an die Brechungsindizes von Linsenmaterial und Lichtleiterkernmaterial angepaßt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1) und 2), dadurch gekennzeichnet, daß die Streustrahlung der Immersionsflüssigkeit und die damit verbundene Sichtbarkeit des Lichtbündelverlaufs in der Immersionsflüssigkeit dazu verwendet wird, um das Lichtbündel auf die Lichtleiterkernoberfläche mit visueller Kontrolle einzujustieren.
4. Anwendung des Verfahrens nach Ansprüchen 1) bis 3) zur Einkopplung eines Laserstrahls in einen Kunststofflichtleiter.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

2517019



Schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Immersionseinkopplung

- B Behältnis
- I Immersionsflüssigkeit
- H Abdichtende Lichtleiterhalterung
- L Linse
- LB Lichtbündel
- LL Lichtleiter
- K Kern des Lichtleiters
- M Mantel des Lichtleiters
- O Oberfläche des Lichtleiterkerns
- $d_1$  Durchmesser des äußeren Lichtbündels
- $d_2$  Durchmesser des Lichtbündels auf der Lichtleiterkernoberfläche
- $d_K$  Durchmesser des Lichtleiterkerns
- f Brennweite der Linse in der Immersionsflüssigkeit
- l Abstand zwischen Linsenebene und Lichtleiterkernoberfläche
- $n_i$  Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit
- $n_K$  Brechungsindex des Lichtleiterkerns
- $n_L$  Brechungsindex des Linsematerials

609844/0613

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



1

**FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY**  
**GERMAN PATENT OFFICE**

5

**Publication Document 25 17 019**

File no.: P 25 17 019.8  
Day of registration: 04.17.75  
10 Day of disclosure: 10.28.76

15 Union priority:

20 Designation: Method of coupling in high optical outputs in  
optical waveguides

Applicant: Friedrich Bodem, Dipl.Phys., 8551 Hiltpolt-  
stein;  
25 Hans-Dieter Reidenbach, Dipl.-Ing., 8510  
Fuerth

Inventor: Same as applicant

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Method of coupling high optical outputs in optical waveguides

The possibility of conducting electromagnetic beams in the optical wave length range in highly transparently sheathed  
5 fibers of inorganic or organic glass materials with total reflecting core sheath boundary layer has been known for a longer period of time. During the last few years optical waveguides have also been made which permit the transmission of high optical outputs such as for example is required for  
10 thermal modification of material surfaces or for the intensive monochromatic lighting with laser beams. The optical output to be coupled into the optical waveguide must be present in the form of a slender light beam which can be adjusted via a suitable optical system in the fiber core. The following requirements appear:  
15

1. The diameter of the light beam must be slightly smaller on the coupling surface of the optical waveguide than the diameter of the optical waveguide core so that  
20
  - a) the entire output of the light beam is coupled into the optical waveguide and
  - b) the light output is already distributed during the coupling over the largest possible area and thus the optical load of the optical waveguide core material is reduced to a minimum.  
25
2. The light beam must be able to be very precisely adjusted under these circumstances to the optical waveguide core surface.  
30
3. The light beam must exhibit a slight divergence during the coupling into the optical waveguide core so that no

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

focus takes place within the optical waveguide core which could damage or even destroy the optical waveguide due to the extremely high output densities occurring with it. The light beam divergence during the coupling must be small however since the transmission losses of the optical waveguide increase with it.

4. Sufficient heat dissipation must be provided for the optical waveguide core surface. Surface microscopic impurities can heat up too much due to their optical absorption and initiate the thermal destruction of the optical waveguide core surface when they are not embedded on all sides in a sufficient heat dissipating medium.

15 All these requirements are completely fulfilled by the method provided by the invention of an immersion coupling. This method is shown schematically in the included sketch and explained as follows.

20 The light beam with diameter  $d_1$  passes through a lens L with suitable focus  $f$  in the directly adjacent immersion fluid I, becomes slightly divergent after passing through a caustic and then assumes a diameter  $d_2 \leq$  optical waveguide core diameter  $d_k$  at a distance  $l$ .

25 The immersion fluid fulfills thereby the following important functions:

1. It causes the necessary additional heat dissipation of the light-absorbing microscopic foreign bodies on the optical waveguide core surface 0. This effect can be increased still further in that the immersion fluid is al-

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

lowed to flow past the optical waveguide core surface without affecting its optical homogeneity and/or if necessary is additionally cooled.

- 5 2. Since the refractive indices of the lens material  $n_L$  and the optical waveguide core surface core material  $n_K$  are almost the same, the Fresnel reflection losses on the optical boundary areas, lens - immersion fluid and immersion fluid - optical waveguide core, can be largely  
10 suppressed by selecting a suitable, highly transparent immersion fluid I, which is not aggressive to the optical waveguide materials, lens L and container B, with refractive index  $n_j \approx n_L$  and  $m_j \approx n_K$ . The Fresnel reflection losses on the outer boundary area air - lens  
15 can be largely suppressed by applying a suitable optical hardening coat.
3. A slight diffused radiation of the highly transparent immersion fluid I renders the light beam to be coupled  
20 in in its path through the immersion fluid and in its lateral expansion clearly visible to the eye when the container B containing the immersion fluid is made of transparent material. It is then very simple to adjust the light beam precisely to the optical waveguide core  
25 surface 0.

This last stated adjustment is performed by suitable orientation concerning the incoming light beam

- a) either of the rigidly constructed total system lens -  
30 container - optical waveguide beginning or
- b) the movable and liquid-proof - lens installed on the rigid system container - optical waveguide beginning

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



with the aid of the above stated possible visual check of the light beam path in the immersion fluid.

Example 1:

- 5 The gray-body radiation of an argon laser (1.6 mm diameter) was coupled into a flexible plastic optical waveguide (optical waveguide core diameter 1.4 mm) using the method provided by the invention. Water or glycerin was used as the immersion fluid. The container B was a glass tube. The optical output  
10 of 20 Watt obtained with the specified argon laser could be coupled in during the long-term experiment and in experimental use in medical endoscopy for photocoagulation without damaging the plastic optical waveguide.

15 Example 2:

An attempt was made to couple in the stated laser beam without immersion fluid in the same plastic optical waveguide. The optical waveguide core surface was already destroyed with a radiation output of 4 to 5 Watt.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Patent claims

1. Method for coupling in high optical output in optical waveguide, characterized thereby that the coupling takes  
5 place in a heat dissipating, quiet or flowing and - if necessary - additionally cooled immersion fluid.
2. Method as defined in claim 1), characterized thereby  
10 that, to reduce the Fresnel reflection losses, the immersion fluid is located directly adjacent to the back surface of a coupling lens and the optical waveguide core surface and is adjusted with its refractive index to the refractive indices of lens material and optical waveguide core material.
- 15 3. Method as defined in claim 1) and 2), characterized thereby that the diffused radiation of the immersion fluid and the thereto connected visibility of the light beam path in the immersion fluid is used to adjust the  
20 light beam to the optical waveguide core surface with visual control.
4. Use of the method as defined in claims 1) to 3) for coupling in a laser beam into a plastic optical waveguide.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Schematic presentation of the immersion coupling as provided by the invention

	B	Container
5	I	Immersion fluid
	H	Sealing optical waveguide holder
	L	Lens
	LB	Light beam
	LL	Optical waveguide
10	K	Core of the optical waveguide
	M	Sheath of the optical waveguide
	O	Surface of the optical waveguide core
	$d_1$	Diameter of the outer light beam
	$d_2$	Diameter of the light beam on the optical waveguide core
15		surface
	$d_K$	Diameter of the optical waveguide core
	f	Focal distance of the lens in the immersion fluid
	l	Distance between lens plane and optical waveguide core surface
20	$n_i$	Refractive index of the immersion fluid
	$n_K$	Refractive index of the optical waveguide core
	$n_L$	Refractive index of the lens material

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**